83-14E

Current Issue Review

Safety in Nuclear Power Systems

Lynne C. Myers

Science and Technology Division

20 October 1983
Reviewed 7 May 1987

Library of Parliament
Bibliothèque du Parlement

Research Branch

88-00823/

The Research Branch of the Library of Parliament works exclusively for Parliament, conducting research and providing information for Committees and Members of the Senate and the House of Commons. This service is extended without partisan bias in such forms as Reports, Background Papers and Issue Reviews. Research Officers in the Branch are also available for personal consultations in their respective fields of expertise.

© Minister of Supply and Services Canada 1987

Cat. No. YM32-1/83-14-1987E

ISBN 0-660-12600-1

N.B. Any substantive changes in this Review which have been made since the preceding issue are indicated in **bold print.**

CE DOCUMENT EST AUSSI
PUBLIÉ EN FRANÇAIS

CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

SAFETY IN NUCLEAR POWER SYSTEMS

ISSUE DEFINITION

Mankind utilizes energy in many forms and from a variety of sources. Canada is one of a growing number of countries which have chosen to embrace nuclear-electric generation as a component of their energy systems. There are now more than 365 power reactors operating in 27 countries and accounting for approximately 12% of the world's production of electricity. In 1984, seven countries -- Finland, Sweden, France, Taiwan, Belgium, Switzerland and Bulgaria -- derived at least 25% of their electricity from nuclear units, with France leading at 58.7%. Last year Canada produced 11.6% of its electricity from nuclear units. Some 170 power reactors are under construction in 25 countries, enough to expand present generating capacity by 65%. No human endeavour carries the guarantee of perfect safety and the question of whether or not nuclear-electric generation represents an "acceptable" risk to society has long been vigorously debated.

Until the events of late April 1986, nuclear safety had indeed been an issue for discussion, for some concern, but not for alarm. The accident at the Chernobyl reactor in the USSR has irrevocably changed all that. This disaster has brought the matter of nuclear safety back into the public mind in a dramatic fashion. This paper discusses the issue of safety in complex energy systems and provides brief accounts of some of the most serious reactor accidents which have occurred to date. Details are also provided of Ontario Hydro's problems with Unit 2 at Pickering. Chernobyl is not discussed in this review as it is the subject of a separate Current Issue Review (#86-25, The Chernobyl Accident).

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

BACKGROUND AND ANALYSIS

A. Safety in Complex Energy Systems

Assessing how complex systems fail is a complicated matter and recent reactor accidents have demonstrated that this assessment is less certain than formerly supposed. Not only may complex systems incorporate errors in design, contributing to safety problems, but they may also suffer from improper construction, quality assurance, maintenance and operation. An example of error in design is in the news at the moment. Had the reactor design used at the Chernobyl site included a containment structure, the level of radiation released into the atmosphere as a result of the accident and fire would have been far lower. The CANDU system, by contrast, has a four-foot thick concrete containment structure around the reactor.

The reactor accident of March 1979 at the Three Mile Island generating station in Pennsylvania illustrates how mechanical problems can be compounded by operator error, emphasizing human reliability as well as equipment reliability in ensuring safety. Indeed, the Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island (the "Kemeny Report") had more to say about the people involved in reactor safety -- the equipment manufacturers, the utility managers, the plant operators and the staff of the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) -- than it did about improving the technology.

Accidents may also occur because supposedly independent and redundant systems fail simultaneously due to a common initiating event. For example, identical valves in independent units have failed simultaneously in response to a common set of conditions because they were not designed or installed properly. Improper maintenance may also cause a common failure, perhaps because each of the independent units has been improperly calibrated or serviced. Or a totally unexpected failure may occur because the sheer complexity of the system has prevented all potential accidents from being identified.

The Salem-1 reactor in New Jersey provides an example of an unanticipated failure. When a routine anomaly or "transient" occurs during

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

reactor operation, a safety system is supposed automatically to shut down or "scram" the reactor by stopping the nuclear chain reaction. A failure of the safety system to so operate -- termed an Anticipated Transient Without Scram (ATWS) -- was supposed to have such a low probability of occurrence that the risk it represents was previously considered negligible. The U.S. nuclear industry argued that ATWS regulations and protective measures were unwarranted on the grounds that the basic safety systems were virtually fail-safe, and an expert on reactor safety could write in 1980: "No reactor has ever failed to 'scram' in an emergency."(1) Yet twice within four days in February of 1983, just such an event occurred at Salem-1. Operators manually scrammed the reactor in both cases, preventing damage to it, but the incidents demonstrated that a breakdown in electronic safety systems was not as implausible as the industry had maintained.

The subsequent investigation of the Salem-1 incident by the U.S. NRC determined that a critical component, designed to drop the reactor shut-off rods automatically, had failed in both circuits of a doubly redundant system. This component, which should have received twice-yearly maintenance, had not been maintained at all during its years of service in the station and "dirt accumulation on exposed linkages" was described by the NRC as one of the causes of failure.

The Chernobyl accident, the worst ever accident involving nuclear reactors, resulted from an incredible series of "human" errors. It is also interesting to note that an article in a Kiev newspaper, a month before the accident, had criticized acute shortcomings in materials, shoddy workmanship and low morale at the plant.

This accident has sparked an unprecedented interest in the question of nuclear safety and as a direct result the IAEA has presented two new international conventions. Canada has signed both of them; the first deals with early notification to other countries about nuclear accidents and the second involves an undertaking to help other countries which have suffered such an accident. The IAEA has also received proposals involving international regulation of nuclear power. For example, the

---

(1) Harold W. Lewis, "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, Vol. 242, No.3, March 1980, p. 59.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

subject of standardized training of nuclear power plant personnel will be discussed at an IAEA meeting in Japan in 1988.

In the United States the growing number of serious operating mishaps at nuclear power installations led a Commission of that country's Nuclear Regulatory Commission to make the following chilling prediction:

> Given the present level of safety being achieved by the operating nuclear power plants in this country, we can expect to see a core meltdown accident within the next 20 years, and it is possible that such an accident could result in off-site releases of radiation which are as large as, or larger than, the releases estimated to have occurred at Chernobyl.

In several countries, increased interest in the study of nuclear safety has been evident in light of Three Mile Island and Chernobyl. The United States Nuclear Regulatory Commission issued a Severe Accident Policy Statement in 1985 and has been working on the implementation of the new policy. As part of the new program, all existing plants will be systematically examined for severe accident vulnerability and mitigative measures suggested where necessary. Clearer standards for risk assessment of proposed new nuclear power plants are being developed. In addition, containment performance criteria are being established.

West Germany is just completing a major study on nuclear power plant risks. The advance word is that the consequences of severe accidents at German light-water reactors would be lower than previously estimated, by one to two orders of magnitude. Despite this very reassuring result, the Germans are instituting a plan to install a new safety feature on all existing pressurized water reactors over the next 18 months. This feature involves installation of a filtration system which will allow for controlled depressurization of the containment structure. Such a move is designed to prevent the build up of potentially explosive amounts of gas in the containment building during a serious accident, so as to avoid endangering the public.

Canada has also begun a major review of nuclear power plant safety in this country. A report is expected by the end of 1987.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

B. Inherent Safety vs. Engineered Safety

The safety of most commercial nuclear reactors depends on engineered systems. In the event of an accident, some engineered systems must detect danger and then respond to it in order to shut down the reactor. It is also possible and perhaps, in light of the Chernobyl accident, essential to design reactors that are "inherently" safe. The shut-down of such reactors during an accident would rely solely on the laws of physics and not on engineered systems and operator intervention. In the words of one writer, "The idea behind inherent safety is to replace Murphy's law (if anything can go wrong, it will) with the laws of physics."(2) Several countries have been developing inherently safe reactors and they will serve as illustrations of the concept.

Sweden has developed a pressurized water reactor it calls PIUS, in which the core cooling system and all heat exchangers are immersed in a solution of boron. Boron is a neutron absorber and quickly damps down the heat-generating chain reaction. During normal operation, the pressure generated by the coolant pump keeps the borated water out of the reactor. If the coolant pumping system fails, the difference in density between the hot water and cold water would immediately cause the reactor to be flooded with borated water, shutting down the chain reaction. No human, mechanical or electrical intervention is required to achieve shut-down. Sweden hopes that it will be ready to start selling PIUS reactors by 1990.

West Germany has a high-temperature, gas-cooled reactor (called the THTR 300) which has round fuel elements the size of tennis balls. These fuel elements are circulated: one drops out of the core every eight seconds and another is put in on top. Because of the size and surface-to-volume ratio of the fuel elements, it is impossible for the core temperature to exceed 1600°C. The designers claim that this reactor could lose all of its coolant (helium gas) without getting hot enough to release fission products.

A number of reactors being developed in the United States - such as General Electric's fast-breeder PRISM reactor, Rockwell's SAFR

---

(2) "Lessons From the Schoolhouse," The Economist, 10 May 1986, p. 92.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

reactor and the Department of Energy's MHTGR (Modular High-Temperature Gas-cooled Reactor) - also incorporate self-shutdown mechanisms which require no mechanical, electrical or human intervention. Since the accident at Chernobyl, such reactors are much more attractive than they once might have been.

C. Ontario Hydro's Recent Problems

Despite an exceptional record of reliability, operating problems were experienced within little more than a month in 1983, at Pickering Units 1, 2 and 5, Douglas Point and Bruce Unit 3. The first of these, the abrupt failure of a pressure tube at Pickering-2 on 1 August 1983, was the most serious event. Subsequent outages at the other units were the result of minor difficulties but received wide media coverage since they so closely followed the event at Pickering-2. That accident and its implications are reviewed here in some detail.

On 1 August 1983, a crack almost two metres (76 inches) long developed in one of the 390 pressure tubes in the Pickering-2 reactor. This unit, which entered service in 1971, was operating at full power (540 megawatts) at the time. The pressure tube failure released heavy water coolant into the annular space separating the pressure and calandria tubes. The calandria tube withstood the high pressure of the escaping coolant, channeling it through the shields at both ends of the reactor into the two large rooms where the reactor refueling machines operate within the containment building. Initially the coolant was escaping at a rate of some 900 litres (about 200 gallons) per minute. This leak was detected by monitoring systems within a couple of minutes and normal procedures were used to shut down the reactor. Automatic safety systems were not called into operation. With the reactor in the shutdown cooling mode, the leakage rate was reduced to a low level. To offset the continuing coolant loss, heavy water was first drawn from storage and later recycled from collection sumps in the reactor building.

There were no fuel failures during the incident and releases of radioactivity from the station remained within normal operating limits. Removal of the fuel bundles from the failed pressure tube was delayed for

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

several days until the electrical systems controlling the refueling machines could be dried out. Each fuel bundle contains 28 fuel elements or "pencils" -- two pencils were found separated from their bundles and lodged in the crack in the pressure tube. After the failed tube had been cleared of its fuel charge, it was removed from the reactor core and sent to AECL laboratories at Chalk River for detailed metallurgical testing. Pending the results of this investigation, Pickering-2 remained out of service.

Preliminary examination of the failed tube uncovered zirconium hydride blisters on the tube's exterior surface and the crack may have originated at a cluster of these blisters.(3) A second fuel channel with a comparable operating history in the Pickering-2 core was also removed for study. Although it did not show blistering, it was found to have a higher than expected hydrogen buildup.

The narrow annular spacing between the pressure and calandria tubes in the CANDU design is maintained by supporting devices called garter springs. One garter spring in the failed channel of Pickering-2 appears either to have broken some time ago or to have been out of position, allowing the hot pressure tube to sag against the cooler calandria tube. Such contact would have caused local cooling in the pressure tube; hydrogen migrates to cooler regions in zirconium alloys and thus concentrated in this location. This preferential accumulation of hydrogen is considered to be the causative mechanism for the pressure tube failure. Selected additional fuel channels were then removed from Pickering-2 for examination to assess how widespread the hydriding problem had become.

Pickering-1 uses pressure tubes made of the same alloy (known as Zircaloy 2) as Pickering-2 and Ontario Hydro became concerned that a similar problem was developing in this unit. Consequently, on 14 November, Hydro shut down Unit 1 to remove four pressure tubes for

---

(3) The term "hydriding" in this context refers to the formation of zirconium hydride in the pressure tube wall due to a chemical reaction between zirconium and deuterium (a heavy isotope of hydrogen). Zirconium hydride is brittle and has a larger volume than zirconium metal, leading to blistering and cracking as hydrogen accumulates in the tubing.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

inspection at Chalk River. Metal blistering and abnormally high levels of zirconium hydride were discovered, although in lesser degree than characterized the failed tube from Pickering-2. Additional fuel channels were then removed from Unit 1 which also remains shut down.

The remaining reactor units at Pickering and the Bruce units use pressure tubes manufactured from a zirconium-niobium alloy which has greater mechanical strength, is more resistant to corrosion and absorbs hydrogen at a slower rate than Zircaloy 2. Indeed, subsequent inspection of a pressure tube removed from Pickering-3 has indicated that corresponding hydride levels are about 50 times lower in the newer tubes.

Ontario Hydro and AECL formed a joint senior management group to handle all aspects of the pressure tube studies. As the investigation unfolded there was some hope that the utility could restart Units 1 and 2 in 1984 after a limited replacement of the most affected pressure tubes. While acknowledging that a complete retubing of both reactor cores would have to be done earlier in the operating life of these units than had been expected,(4) Hydro officials considered operating the units for two years until mid-1986 before performing the major remedial work. By that time it was thought likely that robotic systems could be developed which would substantially shorten the time required for retubing and lower radiation exposures to workers.

Concerned about the possibility of further pressure tube failures during the two years and public reaction to such failures, Ontario Hydro management reassessed the situation and decided in March 1984 to proceed with a complete retubing. Because fully automated equipment was not yet available for the job, the utility decontaminated the units to lower radiation fields as much as possible before retubing, thereby reducing the exposure of workers. Units 1 and 2 are expected to be back in service by May 1987 and December 1987, respectively. The present price tag on this operation is over $1 billion, covering the incremental cost of more expensive replacement power and the cost of the retubing itself.

---

(4) For several years the problem of "creep", the elongation of the pressure tubes during reactor operation, has been recognized. With all CANDU designs it has always been intended to carry out retubing to extend the operating life of the reactors.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

At the same time, a significant program to upgrade the safety systems in these two reactors to a level comparable to those employed in later reactors was undertaken.

Ontario Hydro was criticized for not heeding earlier warnings of pressure tube problems. An internal research report of March 1982 had raised the issue of hydrogen accumulation in the pressure tubes, especially in units 1 and 2 where Zircaloy-2 was used. The report recommended that selected tubes be pulled from these units as soon as possible. Among the consequences which the report's authors suggested might follow from not removing the tubes were the following:

> Unplanned outages can be expected if hydride related problems develop over the next few years.
>
> Operation of tubes with low flaw tolerance under certain conditions could also result. The consequences of this could be tube rupture and obviously substantial damage to the reactor core.(5)

The report noted that the safety of pressure tubes in CANDU reactors is based on the "leak-before-break" concept: that is, a small flaw in the pressure tube will extend slowly until it penetrates the tube wall and coolant leakage will be detected before the flaw reaches a critical size and propagates abruptly. One of the report's concerns was that hydrogen accumulation might promote more severe flaws, causing abrupt failure at operating pressures. In explaining their decision not to act on the recommended removal of Pickering-1 and -2 pressure tubes for testing, Hydro officials observed that other units had already experienced leaks and that an examination of those problems had been accorded a higher priority.

Meanwhile, the problem with the garter spring in Pickering-2 led to the discovery of a number of misplaced springs at Bruce-6, delaying the startup of this new unit for several months. As the new Pickering-6 reactor had already produced partial power, making examination of the fuel channels more difficult, the utility will not inspect the springs at this

---

(5) Ontario Hydro, Research Division, A Review of Current Knowledge on the Effects of Hydrogen on the Pressure Tubes of Ontario Hydro Operating Reactors, Report No. 82-37-K, Technical Review Subcommittee of the Hydrogen Ingress-Design and Evaluation Committee, Toronto, 2 March 1982, p. 24.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

unit immediately. It is possible that over the coming five to six years, Ontario Hydro will have to do remedial work on the garter springs in all its operating reactors.

D. Other Notable Nuclear Accidents(6)

The accident of Chernobyl is by far the worst nuclear reactor accident in history, but it is far from being the only one. In April 1986, an American report was released listing 151 significant nuclear safety "incidents" with power, research and experimental reactors. Among these, three stand out as involving actual or potential release of radioactivity. They are: the 1957 accident at the Windscale plutonium production reactor in the United Kingdom; the 1966 accident involving the Fermi fast breeder reactor near Detroit, Michigan; and the Three-Mile Island accident near Harrisburg, Pennsylvania in 1979. A major release of radioactivity is also believed to have occurred in the Ural Mountains of the USSR during 1957-58. Canada has not been without its own nuclear accident - a partial core meltdown at Chalk River in 1952.

1. Chalk River - 1952

Accidental removal of four control rods at an experimental nuclear power reactor at Chalk River, Ontario, led to a partial meltdown of the reactor's uranium fuel core. A million gallons of radioactive water accumulated inside, but there were no accident-related injuries. Although negligible in comparison with the 1986 Soviet accident, it was the first known major malfunction of a nuclear power plant. (The earlier U.S. accidents were in plutonium production reactors.)

2. The Urals - 1957 or 1958

There have been reports of a major accident in 1957 or 1958 which was claimed to have cost many lives and contaminated a wide area with dangerous levels of radioactivity. The accident presumably occurred in the

---

(6) This section is primarily quoted from W. Donnelly et al., The Chernobyl Accident: Causes, Initial Effects and Congressional Response, Congressional Research Service, Major Issue System, Brief #1B86077, Appendix A, p. 1-2.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

region of Kyshtym, east of the Ural Mountains, the site of the first Soviet plutonium production facility, started up in 1947.

Several U.S. studies have generally confirmed that a large region east of Kyshtym is contaminated with radioactivity, that many villages have been abandoned, and that vegetation in the region has suffered considerable damage. The analyses challenged a report from a Soviet emigré scientist, Zhores Medvedev, who in 1967 claimed radioactive wastes there had been overheated by a "nuclear reaction" and had exploded like a volcano. One of the U.S. reports, however, concluded that there was no single cause for the spread of contamination. The best supposition, it said, is that there were many releases of wastes into the river system over time, plus an explosion in the fuel reprocessing plant at the site.

3. Windscale - 1957

In the 1950s, the British nuclear weapons program obtained some of its plutonium from a small graphite-moderated, air-cooled production reactor at Windscale. During routine servicing in 1957, some of the graphite became so hot that some uranium fuel and some graphite caught fire. An estimated 20,000 curies of Iodine-131 were released, which fell upon surrounding meadows and caused contamination of the milk supply. There was no evacuation of residents, although use of milk from most of the contaminated region was prohibited for 25 days, and from a few places for 44 days. A committee of Britain's Medical Research Council concluded that it was highly unlikely any harm had been done to the health of anyone, whether a worker at Windscale or a member of the general public.

4. The Fermi Reactor - 1966

The Enrico Fermi Atomic Power Plant at Lagoona Beach, Michigan featured a small sodium-cooled, fast-breeder reactor with a generating capacity of 61 MWe. On 5 October 1966, the fuel in two fuel assemblies melted because of a coolant blockage. There were no injuries and no release of radioactivity. The reactor was repaired and resumed operation in October 1970, four years after the accident. It was finally shut down in 1973. The accident attracted substantial attention because of fears that the reactor vessel might be breached.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

5. Three-Mile Island - 1979

Without doubt, the most serious and most well publicized nuclear power accident in the United States occurred in March 1979 at Unit 2 of the Three-Mile Island Nuclear Station in Middletown, Pennsylvania. The unit is a pressurized-water reactor with a capacity of 906 MWe. Because of equipment and procedural failures, the core of the reactor became uncovered long enough for some fuel to melt. Radioactivity escaped into the containment building, which held most of it, though some escaped to cause minor contamination near the plant. There was no full-scale evacuation, although the Governor of Pennsylvania did recommend that pregnant women leave the area, and tens of thousands of people fled on their own. Later, an interagency Ad Hoc Population Dose Assessment Group concluded that the off-site collective dose resulting from the radioactive release represented minimal risks of additional health effects to the off-site population. Cleanup of the damaged core is not yet completed.

PARLIAMENTARY ACTION (FEDERAL)

The question of reactor safety per se has not been dealt with by Parliament but it has in recent years considered matters relating more generally to the safety of nuclear power development. None of these parliamentary initiatives, which included legislation and committee studies, were successfully concluded.

PARLIAMENTARY ACTION (ONTARIO)

The 14-member Select Committee on Ontario Hydro Affairs was established by the Legislative Assembly of Ontario on 24 November 1977. Included in its terms of reference was the authority to examine the safety of nuclear generating stations in the Province. The Committee released an interim report in December 1979 and its final report on "The Safety of Ontario's Nuclear Reactors" in June 1980. While recognizing that "it is

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

impossible to assure absolute safety in the operation of Ontario's nuclear reactors", the report concluded:

> ...given the clear commitment of Ontario Hydro and AECL to safety, the past safety record of the existing reactors and the design mechanisms to limit the consequences of possible accidents, the Committee found that the chance of a very serious accident occurring in any single reactor is extremely small and, on the basis of the information considered to date, that the reactors are, therefore, 'acceptably safe'. In so doing, the Committee recognized fully that it was making a political/societal judgement that the benefits derived from nuclear reactors are worth the risks incurred.(7)

The final report included 24 recommendations. Three of the Committee Members, in a dissenting view, felt that the report was substantially inadequate in its treatment of "acceptable safety". Five other Members disagreed with a specific recommendation.

More recently, the Ontario Select Committee on Energy recommended that an independent study of the safety of CANDU reactors be undertaken by a team of international experts. In September 1986, the government accepted this recommendation in principle and stated that the members of the review panel and its terms of reference would be announced later in the year. In December the province announced that Dr. Kenneth Hare, Professor Emeritus in the Department of Geography, University of Toronto, would conduct a $1.5 million study on nuclear power safety. He is expected to report his findings by the end of 1987.

CHRONOLOGY

29 February 1980 - The Ontario Royal Commission on Electric Power Planning released its nine-volume final report, terminating an investigation begun on 17 July 1975. A number of recommendations dealt with the safety and reliability of nuclear power generation in Ontario.

---

(7) Ontario, Legislative Assembly, Select Committee on Ontario Hydro Affairs, The Safety of Ontario's Nuclear Reactors, Final Report, June 1980, p. 1-2.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

June 1980 - The Select Committee on Ontario Hydro Affairs of the Legislative Assembly released its final report on "The Safety of Ontario's Nuclear Reactors".

1 August 1983 - An abrupt pressure tube failure occurred at Pickering-2. This was the first major failure in the primary cooling system of a CANDU reactor. The unit remains out of service pending reactor retubing.

Aug.-Nov. 1983 - Operating incidents caused reactor shutdown at Pickering-1 (5 August), Pickering-5 (7 August), Douglas Point (4 September), Bruce-3 (4 September), Bruce-2 (21 October), NPD (25 October), Bruce-1 (30 October) and Pickering-5 (1 November). With the exception of NPD, all of these units subsequently returned to service.

14 November 1983 - Pickering-1 was shut down to examine its pressure tubes for hydrogen buildup.

7 March 1984 - Ontario Hydro announced that Pickering Units 1 and 2 will undergo a complete retubing of their reactor cores.

26 April 1986 - An explosion and fire occurred at the Chernobyl generating station in the USSR, releasing massive amounts of radiation from the reactor core.

25 August 1986 - The International Atomic Energy Agency received and began to review an official Soviet report on the causes and effects of the Chernobyl accident. Gross human negligence was cited as the cause.

September 1986 - Canada signed two international conventions concerning nuclear safety. The first convention provides for early notification and information about nuclear accidents and the second commits signatories to help other nations which suffer a nuclear accident.

May 1987 - Pickering 1 is expected to return to service.

December 1987 - Pickering 2 is expected to return to service.

SELECTED REFERENCES

(1) "All Zirconium Tubes to be Replaced at Pickering Units 1 and 2", Nuclear Engineering International, vol. 29, no. 355, May 1984, p. 15-20.

(2) Cruickshank, Andrew, "Putting Policy Into Practice in the United States", Nuclear Engineering International, March 1987, p. 24-28.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

(3) Freeman, S. David, "The Future of the Nuclear Option", Environment, vol. 25, no. 7, September 1983, p. 12-16.

(4) "Lessons from the Schoolhouse", The Economist, 10 May 1986, p. 92-93.

(5) Lewis, Harold, W., "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, vol. 242, no. 3, March 1980, p. 53-65.

(6) Mynatt, F.R., "Nuclear Reactor Safety Research Since Three Mile Island", Science, vol. 216, 9 April 1982, p. 131-135.

(7) Ontario, Legislative Assembly, Select Committee on Ontario Hydro Affairs, The Safety of Ontario's Nuclear Reactors, Final Report, June 1980.

(8) Varley, James, "Germans Take A New Look At Core Melt Consequences", Nuclear Engineering International, March 1987, p. 35-38.

83-14F

Bulletin d'actualité

La sécurité dans les centrales nucléaires

Lynne C. Myers

Division des sciences et de la technologie
Service de recherche

Le 20 octobre 1983
Revu le 7 mai 1987

Bibliothèque du Parlement
Library of Parliament

Service de recherche

Le Service de recherche de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, il assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

N° de cat. YM32-1/83-14-1987F

ISBN 0-660-92156-1

N.B. Dans ce bulletin, tout changement d'importance fait depuis la dernière publication est indiqué en **caractères gras** .

THIS DOCUMENT IS ALSO PUBLISHED IN ENGLISH

TRADUCTION

CANADA
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

LA SÉCURITÉ DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

DÉFINITION DU SUJET

L'homme utilise sous diverses formes l'énergie qu'il puise à différentes sources. Un nombre grandissant de pays, dont le Canada, ont choisi d'ajouter le nucléaire à l'éventail de leurs sources d'énergie. Plus de 365 réacteurs nucléaires sont actuellement en service dans 27 pays et fournissent environ 12 p. 100 de la production mondiale d'électricité. En 1984, sept pays, soit la Finlande, la Suède, la France, Taïwan, la Belgique, la Suisse et la Bulgarie, ont produit au moins 25 p. 100 de leur électricité dans des centrales nucléaires, la France venant en tête de liste avec une proportion de 58,7 p. 100. L'an dernier, le Canada a produit plus de 11,6 p. 100 de son électricité à partir de centrales nucléaires. Par ailleurs, environ 170 réacteurs nucléaires sont actuellement en construction dans 25 pays, ce qui suffirait à augmenter de 65 p. 100 la capacité de production actuelle. Aucune entreprise humaine ne comporte une garantie totale de sécurité, c'est pourquoi la question de savoir si l'électro-nucléaire fait courir un risque "acceptable" à la société est depuis longtemps vigoureusement débattue.

Jusqu'aux événements de la fin d'avril 1986, la sécurité des centrales nucléaires était bien sûr un sujet préoccupant, mais la question n'était pas alarmante. L'accident survenu à la centrale de Tchernobyl en U.R.S.S. a irrévocablement changé la situation. La catastrophe a tragiquement ramené la question de la sécurité des centrales nucléaires dans les esprits. Le présent bulletin traite du problème de la sécurité dans les centrales complexes et explique succintement certains des accidents nucléaires les plus graves survenus à ce jour. Il y est aussi question des difficultés qu'a éprouvées l'Hydro-Ontario à la centrale Pickering 2.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

L'accident de Tchernobyl n'y est pas abordé car il fait l'objet d'un bulletin d'actualité distinct (n° 86-25, intitulé L'accident de Tchernobyl).

CONTEXTE ET ANALYSE

A. La sécurité dans les centrales nucléaires complexes

Il est difficile de déterminer les causes d'une panne dans une centrale complexe, et les accidents survenus récemment dans des réacteurs ont montré que le diagnostic était beaucoup moins sûr qu'on ne le pensait initialement. D'une part, il peut arriver qu'une centrale complexe comporte des erreurs de conception qui créent des problèmes de sécurité, mais d'autre part, il se peut que des erreurs de construction, de vérification de la qualité, d'entretien ou d'exploitation soient en cause. Un exemple d'erreur de conception fait actuellement la manchette. S'il avait été prévu de doter la centrale de Tchernobyl d'une enceinte de confinement, le niveau de rayonnement qui s'est échappé dans l'atmosphère par suite de l'accident et de l'incendie aurait été plus bas. À titre de comparaison, le système CANDU possède une enceinte de confinement de béton de quatre pieds d'épaisseur qui entoure complètement le réacteur.

L'accident survenu en mars 1979 au réacteur de Three Mile Island, en Pennsylvanie, montre que des problèmes mécaniques peuvent être aggravés par l'erreur d'un technicien, ce qui souligne l'importance de l'élément humain parallèlement à celle de la fiabilité du matériel dans la perspective de la sécurité. En effet, le rapport de la Commission présidentielle sur l'accident de Three Mile Island (communément appelé le "rapport Kemeny") s'intéressait davantage aux responsables de la sécurité nucléaire, à savoir les fabricants de matériel, les directeurs des services, les techniciens de la centrale et le personnel de la Nuclear Regulatory Commission (NRC), qu'au besoin d'améliorer la technologie comme telle.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

Des accidents peuvent aussi survenir à l'improviste lorsqu'un même incident initial provoque une défaillance simultanée des dispositifs doubles qui sont censés fonctionner de façon indépendante. Par exemple, il est arrivé que des soupapes identiques, installées sur des dispositifs indépendants et soumises aux mêmes conditions, soient tombées simultanément en panne parce qu'elles étaient mal conçues ou mal installées. Un entretien inadéquat peut également provoquer une panne multiple lorsque chacun des dispositifs indépendants a été mal réglé ou mal entretenu. Une panne totalement imprévue peut survenir à cause de la complexité même de la centrale, qui empêche que tous les risques d'accident puissent être détectés.

L'accident de Salem 1, au New Jersey, fournit un exemple de panne imprévue. Lorsqu'une anomalie prévisible, appelée "transitoire", survient dans le fonctionnement du réacteur, un dispositif de sécurité est censé intervenir automatiquement pour arrêter d'urgence le réacteur en interrompant la réaction nucléaire en chaîne. Une panne de ce système de sécurité (connue sous l'appellation technique de "transitoire sans chute de barres") était considérée comme tellement improbable que le risque qu'elle représentait avait auparavant été jugé négligeable. L'industrie nucléaire américaine a estimé qu'il n'y avait pas lieu d'imposer des règlements et des mesures préventives contre ce genre d'incident, étant donné que les systèmes de sécurité de base étaient pratiquement à l'abri des pannes. D'ailleurs, un spécialiste de la sécurité nucléaire a pu affirmer en 1980 que jamais un tel dispositif de sécurité n'avait fait défaut en cas d'urgence(1). Pourtant, un incident de ce genre s'est produit à deux reprises en quatre jours en février 1983 au réacteur Salem 1. Dans les deux cas, les techniciens ont arrêté manuellement le réacteur, afin d'éviter qu'il ne s'endommage, mais ces incidents ont prouvé qu'une panne du système électronique de sécurité n'était pas aussi improbable qu'on l'avait prétendu.

---

(1) Harold W. Lewis, "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, vol. 242, n° 3, mars 1980, p. 59.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

L'enquête faisant suite à l'incident de Salem 1, menée par la Nuclear Regulatory Commission des États-Unis (NRC), a établi qu'un élément critique des dispositifs de chute automatique des barres de sécurité du réacteur était tombé en panne dans les deux circuits d'un système à double redondance. Cet élément, qui doit normalement subir deux opérations fonctionnement à la centrale, et la NRC a attribué en partie la panne à une accumulation de poussière sur des joints exposés.

L'accident de Tchernobyl, le pire jamais survenu dans une centrale nucléaire, a été causé par une incroyable suite d'erreurs "humaines". Il est également intéressant de noter qu'un article paru dans un journal de Kiev un mois avant l'accident déplorait de graves pénuries de matériel, la piètre qualité de la main-d'oeuvre et le moral très bas des employés de la centrale.

Cet accident a suscité un intérêt sans précédent pour la question de la sûreté des centrales nucléaires et a amené l'AIEA à élaborer deux nouvelles conventions internationales engageant leurs signataires (parmi lesquels figure le Canada) à alerter immédiatement les autres pays si un accident nucléaire survient sur leur territoire et à aider tout pays victime d'un tel accident. L'AIEA a également reçu des propositions prévoyant la réglementation internationale de l'énergie nucléaire. Par exemple, lors de la réunion de l'AIEA qui aura lieu au Japon en 1988, on débattra notamment d'un programme normalisé de formation du personnel des centrales nucléaires.

Aux États-Unis, les incidents graves dans les centrales nucléaires sont de plus en plus nombreux, ce qui a amené une commission de la Nuclear Regulatory Commission à faire une prédiction alarmante:

> Vu le niveau actuel de sûreté de l'exploitation des centrales nucléaires aux États-Unis, on peut s'attendre à la fusion du coeur d'un réacteur dans les 20 prochaines années, et il est possible qu'un accident de ce genre entraîne des émissions de rayonnements dans l'atmosphère aussi importantes, sinon plus, que celles qui se seraient produites à Tchernobyl.

Dans plusieurs pays, on s'intéresse davantage à l'étude de la sécurité nucléaire depuis les accidents de Three Mile Island et de

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

Tchernobyl. Aux États-Unis, la Nuclear Regulatory Commission a publié en 1985 une déclaration de principes concernant les accidents graves et elle s'emploie à mettre en oeuvre la nouvelle politique qui a été adoptée. Dans le cadre du nouveau programme, toutes les centrales existantes seront systématiquement examinées pour voir jusqu'à quel point des accidents graves pourraient y survenir; des mesures de sécurité supplémentaires seront proposées au besoin. On élabore en outre actuellement des normes plus claires pour évaluer les risques des futures centrales nucléaires. De plus, on travaille à établir des critères de rendement en matière de confinement.

Pour sa part, l'Allemagne de l'Ouest est en train de mettre la dernière main à une vaste étude sur les risques dans les centrales nucléaires. On dit que les conséquences d'accidents graves concernant les réacteurs à eau ordinaire d'Allemagne seraient de dix à cent fois moindres que ce qu'on avait déjà déterminé. Malgré ce résultat très rassurant, les Allemands prévoient installer au cours des dix-huit prochains mois un nouveau dispositif de sécurité sur tous les réacteurs à eau sous pression. Il s'agit d'un système de filtration qui permettra la dépressurisation contrôlée de l'enceinte de confinement. Cette mesure vise à empêcher que, s'il y a un accident grave, des gaz explosifs s'accumulent dans l'enceinte de confinement, afin d'éviter de mettre en danger la population.

Le Canada a aussi entrepris un vaste examen de la sécurité dans les centrales nucléaires du pays. Un rapport devrait paraître d'ici la fin de 1987.

B. Sécurité intrinsèque et sécurité technique

La sécurité de la plupart des réacteurs nucléaires commerciaux dépend de systèmes techniques auxiliaires. En cas d'accident, ceux-ci doivent détecter le danger et y réagir en provoquant l'arrêt du réacteur. Il est aussi possible et, à la lumière de l'accident de Tchernobyl, peut-être même essentiel, de concevoir des réacteurs "intrinsèquement" sûrs, dont l'arrêt au cours d'un accident dépendrait uniquement

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

des lois de la physique plutôt que de systèmes auxiliaires et de l'intervention de techniciens. Comme le soulignait un auteur, la sécurité intrinsèque vise à remplacer le principe de Murphy (tout ce qui peut aller mal ira fatalement mal) par les lois de la physique(2). Plusieurs pays ont d'ailleurs mis au point des réacteurs intrinsèquement sûrs, qui serviront à illustrer cette idée.

La Suède a créé un réacteur à eau sous pression appelé PIUS; le système de refroidissement du coeur et tous les échangeurs de chaleur de ce réacteur sont immergés dans une solution de bore qui absorbe les neutrons et freine rapidement la réaction en chaîne productrice de chaleur. Lorsque tout se déroule normalement, la pression générée par la pompe de réfrigérant maintient l'eau borée à l'extérieur du réacteur. Toutefois, si la pompe est défectueuse, la différence de densité entre l'eau chaude et l'eau froide entraînera immédiatement le noyage du réacteur par de l'eau borée, la réaction en chaîne étant alors enrayée. Aucune intervention humaine, mécanique ou électrique n'est donc nécessaire pour provoquer l'arrêt du réacteur. La Suède espère qu'elle pourra commencer à vendre ses réacteurs PIUS d'ici à 1990.

De son côté, l'Allemagne de l'Ouest a conçu un réacteur à haute température à réfrigérant gazeux (baptisé le THTR 300) doté d'éléments combustibles ronds de la grosseur de balles de tennis. Ces éléments combustibles sont en mouvement: toutes les huit secondes, l'un d'eux s'échappe du coeur et un autre est introduit par le dessus. À cause de la grosseur des éléments combustibles et du rapport entre leur superficie et leur volume, il est impossible que la température dans le coeur du réacteur dépasse 1 600°C. D'après les concepteurs, le réacteur pourrait perdre tout son fluide de refroidissement (hélium) sans pour autant devenir assez chaud pour libérer des produits de fission.

Plusieurs réacteurs actuellement mis au point aux États-Unis, comme le réacteur surgénérateur PRISM de General Electric, le

---

(2) "Lessons from the Schoolhouse", The Economist, 10 mai 1986, p. 92.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

réacteur SAFR de Rockwell et le réacteur MHTGR du département de l'Énergie (réacteur modulaire à haute température refroidi au gaz), sont dotés de mécanismes d'arrêt automatique qui n'exigent aucune intervention mécanique, électrique ou humaine. Depuis l'accident de Tchernobyl, ces réacteurs sont plus intéressants que jamais.

C. Problèmes récents survenus à l'Hydro-Ontario

En dépit de son exceptionnel dossier de fiabilité, l'Hydro-Ontario a éprouvé, en l'espace d'un peu plus d'un mois, en 1983, plusieurs problèmes d'exploitation à Pickering 1, 2 et 5, à Douglas Point et à Bruce 3. Le premier, une défaillance soudaine d'un tube de force, survenue au réacteur 2 de Pickering le 1er août 1983, est sans doute le plus grave de tous. Par la suite, les quelques incidents survenus dans d'autres centrales, bien que mineurs, ont largement été exploités par les médias, ayant suivi de très près la panne du réacteur 2 de Pickering.

Le 1er août 1983, une fissure de quelque 2 mètres (76 pouces) de longueur s'est produite dans l'un des 390 tubes de force du réacteur. Celui-ci, qui était en utilisation depuis 1971, fonctionnait à pleine capacité (540 mégawatts) au moment de l'accident. La fissure dans le tube de force a laissé s'échapper de l'eau lourde (qui sert de réfrigérant) dans l'espace annulaire qui sépare les tubes de force et de guidage. Le tube de guidage a supporté la haute pression du réfrigérant, l'acheminant par le blindage disposé aux deux extrémités du réacteur, à l'intérieur de deux vastes chambres qui contiennent les machines de rechargement du réacteur dans l'enceinte de confinement. Au début, le débit de la fuite était d'environ 900 litres (approximativement 200 gallons) à la minute. Cette fuite a été décelée en quelques minutes, grâce au système de surveillance, et on a eu recours au procédé normal pour arrêter le réacteur, sans utiliser le dispositif automatique de sécurité. Le réacteur étant alors mis en état de refroidissement, le débit de la fuite a été ramené à un faible niveau. Pour compenser la fuite de réfrigérant, on a d'abord puisé de l'eau lourde dans la cuve de stockage; par la suite, le réfrigérant a

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

été récupéré au moyen d'un puisard collecteur, puis réintroduit dans l'enceinte du réacteur.

Il n'y eut aucune défaillance d'élément combustible au cours de l'incident, et la centrale n'a laissé échapper que des niveaux acceptables de radioactivité. Les grappes de combustible n'ont été enlevées du tube de force défectueux que quelques jours plus tard, car les systèmes électriques contrôlant les machines de rechargement ont dû être asséchés. Chaque grappe de combustible est composée de 28 éléments ou "crayons", et deux de ces éléments se sont séparés de leur grappe pour se loger dans la fissure du tube de force. Après avoir été nettoyé de toute trace de combustible, le tube de pression défectueux a été envoyé au laboratoire de l'EACL, à Chalk River, pour être soumis à une étude métallurgique détaillée. En attendant les résultats de l'enquête, l'exploitation de Pickering 2 a été interrompue.

Un examen préliminaire a révélé des boursouflures d'hydrure de zirconium sur la surface externe du tube, et il est possible que la fissure ait été provoquée par une accumulation de ces boursouflures en un point du tube(3). Un autre canal de combustible ayant une durée comparable d'utilisation a également été enlevé du réacteur Pickering 2: son examen n'a toutefois pas révélé les mêmes boursouflures, même si le tube présentait une accumulation d'hydrogène supérieure à la normale.

L'étroit espace annulaire situé entre le tube de force et le tube de guidage du réacteur CANDU est maintenu par un dispositif appelé ressort expandeur. L'un des ressorts expandeurs du canal défectueux semblait brisé depuis un certain temps ou s'être délogé, permettant ainsi au tube de force chaud de s'affaisser contre le tube de guidage, dont la

---

(3) Le terme "hydruration" désigne, dans ce contexte, la formation d'hydrure de zirconium sur la paroi du tube de force, attribuable à une réaction entre le zirconium et le deutérium, un isotope lourd de l'hydrogène. L'hydrure de zirconium est une matière friable et son volume est supérieur à celui du zirconium métallique; il se produit donc des boursouflures et des fissures lorsque l'hydrogène s'accumule dans le tube.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

température est plus froide. Le contact de ces deux tubes aurait entraîné un refroidissement local dans le tube de force, et comme l'hydrogène se déplace vers les zones plus froides des alliages de zirconium, il s'y serait alors concentré. La défectuosité du tube de force serait attribuable à cette accumulation d'hydrogène. Certains autres canaux de combustible à Pickering 2 ont été sélectionnés pour examen en vue d'évaluer l'ampleur du problème d'hydruration.

Étant donné que les tubes de force du réacteur 1 de Pickering sont constitués du même alliage que ceux du réacteur 2, à savoir le zircaloy 2, l'Hydro-Ontario a craint qu'un problème similaire ne survienne dans ce réacteur. Par conséquent, le 14 novembre, l'Hydro-Ontario a stoppé le réacteur 1 afin d'en retirer quatre tubes de force pour inspection dans les laboratoires de Chalk River. Cette inspection a révélé des boursouflures du métal ainsi qu'un niveau excessif d'hydrure de zirconium, encore que ce niveau demeure inférieur à celui observé dans le tube défectueux de Pickering 2. D'autres canaux de combustible ont ensuite été retirés du premier réacteur, qui demeure stoppé.

Les autres réacteurs des centrales Pickering et Bruce sont munis de tubes de force fabriqués à partir d'un alliage de zirconium et de niobium qui offre une plus grande force mécanique, résiste mieux à la corrosion et permet une absorption d'hydrogène plus lente que le zircaloy 2. En inspectant par la suite un tube de force retiré de Pickering 3, on a constaté qu'il y avait cinquante fois moins d'hydrure dans les nouveaux tubes.

L'Hydro-Ontario et l'EACL ont chargé un groupe formé de membres de la haute direction des deux sociétés d'examiner tous les aspects des tubes de force. Au fur et à mesure que l'enquête progressait, on avait espoir que les réacteurs 1 et 2 puissent être remis en service en 1984, après un remplacement des tubes de force les plus endommagés. Tout en admettant que les tubes de ces deux réacteurs devraient sans doute être

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

remplacés plus tôt que prévu(4), les responsables de l'Hydro-Ontario envisageaient de poursuivre l'exploitation des réacteurs pendant deux ans, soit jusqu'au milieu de 1986, avant de procéder à des réparations majeures. D'ici là, il était probable que des systèmes robotisés seraient conçus en vue de réduire considérablement le temps nécessaire aux travaux et d'amoindrir les risques de radiation pour les travailleurs.

Inquiète de la possibilité d'autres ruptures de tubes de force pendant ces deux années et préoccupée par la réaction du public, la direction de l'Hydro-Ontario a réévalué la situation et a décidé, en mars 1984, de remplacer tous les tubes. Étant donné qu'il n'existait pas encore de matériel entièrement automatisé pour ce genre de travaux, il afallu décontaminer les réacteurs pour réduire autant que possible les champs de rayonnement avant de remplacer les tubes, de manière à ne pas exposer les travailleurs à des risques indus. Les réacteurs 1 et 2 devraient être respectivement remis en service en mai et en décembre 1987. Pour l'instant, le prix des travaux est évalué à plus de un milliard de dollars, ce qui couvre le coût imputable à l'utilisation d'une énergie de rechange plus coûteuse et les frais de remplacement des tubes.

De plus, un important programme visant à rendre la sécurité de ces deux réacteurs comparable à celle qu'offrent les systèmes des derniers réacteurs produits a été mis en oeuvre.

On a reproché à l'Hydro-Ontario de ne pas avoir tenu compte plus tôt des problèmes signalés au sujet des tubes de force. Un rapport interne publié en mars 1982 soulevait le problème de l'accumulation d'hydrogène dans les tubes de force des réacteurs, notamment ceux des réacteurs Pickering 1 et 2, faits de zircaloy 2. Le rapport recommandait de retirer aussitôt que possible certains tubes de ces réacteurs. Selon les auteurs

---

(4) On reconnaît depuis plusieurs années que l'allongement des tubes de force qui se produit quand le réacteur fonctionne est un problème. On a toujours voulu remplacer les tubes des CANDU de manière à augmenter la durée utile de ces réacteurs.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

du rapport, si on ne les retirait pas, cela pourrait notamment avoir les conséquences suivantes:

> Au cours des prochaines années, d'autres problèmes causés par l'hydruration risqueraient d'entraîner l'interruption imprévue du service.
>
> On risquerait en outre de fonctionner avec des tubes qui seraient davantage vulnérables à certaines conditions, ce qui pourrait entraîner leur rupture et causer des dommages considérables au coeur du réacteur(5).

Par ailleurs, le rapport indiquait que la sûreté des tubes de force utilisés dans les réacteurs CANDU était assurée par le principe de la "fuite avant rupture", c'est-à-dire qu'une fuite légère du tube de force ne progresserait que très lentement jusqu'à ce que le liquide pénètre la paroi du tube, de sorte que la perte de réfrigérant pourrait être détectée avant que le problème ne devienne critique et que le liquide ne se propage brusquement. On se souciait notamment du fait que l'accumulation d'hydrogène risquait d'entraîner des problèmes plus graves, en provoquant une panne subite aux pressions courantes. Pour justifier leur décision de ne pas procéder à l'enlèvement des tubes de force des réacteurs Pickering 1 et 2 pour la mise à l'essai recommandée, les responsables de l'Hydro-Ontario ont fait remarquer que des fuites s'étaient déjà produites dans d'autres réacteurs, et que l'examen de ces problèmes était prioritaire.

Entre temps, une défectuosité des ressorts expandeurs à Pickering 2 a permis de découvrir que plusieurs ressorts à la centrale Bruce 6 avaient été mal posés, ce qui a retardé de plusieurs mois la mise en service de cette nouvelle centrale. Comme le nouveau réacteur de la centrale Pickering 6 a déjà commencé à fonctionner, ce qui complique l'inspection des canaux de combustible, la société a décidé de ne pas vérifier

---

(5) Hydro-Ontario, Division des recherches, A Review of Current Knowledge on the Effects of Hydrogen on the Pressure Tubes of Ontario Hydro Operating Reactors, Rapport n° 82-37-K, sous-comité de l'examen technique relevant du Hydrogen Ingress-Design and Evaluation Committee, Toronto, le 2 mars 1982, p. 24.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

les ressorts tout de suite. Il se peut qu'au cours des cinq ou six prochaines années, elle ait à réparer les ressorts expandeurs de tous ses réacteurs en service.

D. Autres accidents nucléaires notables(6)

L'accident de Tchernobyl est de loin la pire catastrophe ayant jamais touché un réacteur nucléaire, mais il n'est pas le seul en son genre. En avril 1986, on publiait aux États-Unis un rapport énumérant 151 "incidents" nucléaires importants occasionnés par des réacteurs de puissance, de recherche et expérimentaux. De ce nombre, trois semblent avoir eu des retombées radioactives réelles ou potentielles. Il s'agit de l'accident survenu en 1957 dans le réacteur plutonigène de Windscale, au Royaume-Uni, de l'accident ayant touché en 1966 le réacteur surgénérateur rapide Fermi, à proximité de Détroit, dans l'État du Michigan, et de l'accident survenu en 1979 à la centrale de Three Mile Island, près de Harrisburg, en Pennsylvanie. On croit aussi qu'un dégagement de radioactivité majeur se serait produit en Union soviétique, dans l'Oural, en 1957 ou 1958. Quant au Canada, il a lui aussi été victime d'un accident nucléaire, le coeur d'un réacteur étant partiellement entré en fusion à Chalk River, en 1952.

1. Chalk River - 1952

L'enlèvement accidentel de quatre barres de commande d'un réacteur de puissance expérimental à Chalk River, en Ontario, a provoqué la fusion partielle du coeur du réacteur à l'uranium. Un million de gallons

---

(6) Cette partie s'inspire surtout d'un document de W. Donnelly et al., intitulé The Chernobyl Accident: Causes, Initial Effects and Congressional Response, Congressional Research Service, Major Issue System, Brief #IB86077, Appendix A, p. 1-2.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

d'eau radioactive s'est accumulé à l'intérieur, mais l'accident n'a fait aucun blessé. Bien qu'il ait été anodin comparativement à la catastrophe soviétique de 1986, cet accident a constitué le premier cas connu de défectuosité majeure d'une centrale nucléaire. (Les accidents survenus précédemment aux États-Unis s'étaient produits dans des réacteurs plutonigènes.)

2. L'Oural - 1957 ou 1958

Il semble qu'un grave accident aurait coûté de nombreuses vies et provoqué la contamination radioactive d'une vaste région en 1957 ou 1958. L'accident serait survenu à l'est de l'Oural, dans la région de Kyshtym, site de la première centrale plutonigène soviétique mise en service en 1947.

Selon plusieurs études américaines, un vaste secteur à l'est de Kyshtym a effectivement été contaminé, de nombreux villages ont été abandonnés et la végétation dans la région a subi des dommages considérables. Les analyses ont mis en doute la véracité des dires d'un scientifique soviétique émigré, Zhores Medvedev; en 1967, celui-ci avait déclaré que des déchets radioactifs avaient été surchauffés par une "réaction nucléaire" et qu'ils avaient explosé comme un volcan. Un des rapports américains a toutefois conclu que la contamination ne résultait pas d'une cause unique. D'après ce rapport, l'hypothèse la plus plausible serait que des déchets ont été déversés à maintes reprises dans le bassin d'un cours d'eau et qu'une explosion s'est produite à l'usine de retraitement du combustible de la centrale.

3. Windscale - 1957

Dans les années 50, une partie du plutonium nécessaire au programme britannique d'armements nucléaires était obtenue d'un petit réacteur plutonigène modéré au graphite et refroidi à l'air, situé à Windscale. Au cours de travaux d'entretien courants en 1957, le graphite est devenu tellement chaud qu'une partie de celui-ci et de l'uranium s'est

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

enflammée. Environ 20 000 curies d'iode 131 ont été libérés et sont retombés dans les prés environnants, provoquant la contamination du lait. Aucun résident n'a été évacué, bien que l'on ait interdit la consommation de lait durant 25 jours dans la majeure partie de la région contaminée et, à certains endroits, durant 44 jours. Un comité du Medical Research Council de la Grande-Bretagne a conclu que l'accident n'avait fort probablement eu aucun effet nocif sur la santé des travailleurs de la centrale de Windscale et de la population en général.

4. Le réacteur Fermi - 1966

La centrale nucléaire Enrico Fermi de Lagoona Beach, dans l'État du Michigan, disposait d'un petit réacteur surgénérateur rapide refroidi au sodium, doté d'une puissance de 61 MWe. Le 5 octobre 1966, le combustible de deux assemblages est entré en fusion en raison d'une obstruction des canaux de circulation du réfrigérant. Il n'y a eu aucun blessé et aucune émission radioactive. Le réacteur a été réparé et remis en service en octobre 1970, quatre ans après l'accident. On a finalement cessé de l'exploiter en 1973. L'accident avait créé tout un émoi parce qu'on craignait une fissure dans la cuve du réacteur.

5. Three Mile Island - 1979

L'accident nucléaire sans doute le plus grave et dont on a le plus parlé aux États-Unis est survenu en mars 1979 à l'unité 2 de la centrale nucléaire de Three Mile Island, à Middletown, en Pennsylvanie. L'unité en cause abritait un réacteur à eau sous pression d'une puissance de 906 MWe. En raison de défectuosités du matériel et d'entorses aux règles, le coeur du réacteur a été mis à nu suffisamment longtemps pour qu'une partie du combustible entre en fusion. Des éléments radioactifs se sont infiltrés dans l'enceinte de confinement, qui en a retenu la majeure partie; certaines fuites ont toutefois occasionné une contamination mineure à proximité de la centrale. Il n'y a pas eu d'évacuation complète, mais le gouverneur de l'Etat a recommandé aux femmes enceintes de quitter la

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

région, ce que des dizaines de milliers de personnes ont fait de leur propre chef. Par la suite, une équipe pluridisciplinaire chargée d'évaluer la dose de radiation absorbée par la population a conclu que la dose collective de radioactivité décelée à l'extérieur du site présentait des risques tout à fait minimes pour la santé de la population vivant en dehors des limites de la centrale. La décontamination du coeur endommagé n'est pas encore terminée.

INITIATIVES DU PARLEMENT FÉDÉRAL

Si la question proprement dite de la sécurité des réacteurs n'a pas été abordée par le Parlement, les questions associées plus généralement à la sûreté de l'énergie nucléaire ont été prises en considération au cours des dernières années. Aucune de ces initiatives, qui comprenaient des études de propositions de lois et des études en comité, n'a abouti.

INITIATIVES DU PARLEMENT DE L'ONTARIO

Le Comité spécial sur les affaires de l'Hydro-Ontario, composé de 14 membres, a été formé par l'assemblée législative de cette province le 24 novembre 1977. Son mandat l'autorisait à examiner la sécurité des centrales nucléaires de la province. Il a publié un rapport provisoire en décembre 1979 et un rapport final intitulé The Safety of Ontario's Nuclear Reactors (La sécurité des réacteurs nucléaires de l'Ontario) en juin 1980. Conscient qu'il est impossible d'assurer une sécurité absolue dans le fonctionnement des réacteurs nucléaires en Ontario, le Comité concluait dans son rapport:

> Étant donné l'engagement clair de l'Hydro-Ontario et d'Energie atomique du Canada Ltée en matière de

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

> sécurité, le dossier de la sécurité des réacteurs et les mécanismes conçus pour limiter les conséquences d'éventuels accidents nucléaires, le Comité estime que les risques d'un accident très grave à n'importe quel réacteur sont infimes et que, d'après les renseignements étudiés jusqu'à maintenant, la sécurité des réacteurs est donc acceptable. En adoptant cette position, le Comité s'est dit tout à fait conscient de porter un jugement politique et social selon lequel les avantages que présentent les réacteurs nucléaires valent bien les risques qu'ils comportent(7).

Le rapport final comprenait 24 recommandations. D'après trois membres dissidents du Comité, le rapport ne traite pas assez en profondeur de la question de la "sécurité acceptable". Cinq autres membres ont contesté une recommandation particulière.

Dernièrement, un comité spécial ontarien sur l'énergie a recommandé qu'une étude indépendante sur la sécurité des réacteurs CANDU soit entreprise par une équipe de spécialistes internationaux. En septembre 1986, le gouvernement a accepté en principe cette recommandation et a fait savoir que le mandat du groupe d'étude et les noms de ceux qui en feront partie seraient annoncés plus tard dans l'année. En décembre, les autorités provinciales ont annoncé que M. Kenneth Hare, professeur honoraire du Département de géographie de l'Université de Toronto, dirigerait une étude de 1,5 million de dollars sur la sûreté des centrales nucléaires. M. Hare devrait normalement publier son rapport vers la fin de 1987.

CHRONOLOGIE

29 février 1980 - La Commission royale de l'Ontario sur la planification de l'énergie électrique publie les neuf

---

(7) Ontario, Assemblée législative, Comité spécial sur les affaires de l'Hydro-Ontario, The Safety of Ontario's Nuclear Reactors, rapport final, juin 1980, p. 1 et 2.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

volumes de son rapport final, mettant ainsi fin à l'enquête commencée le 17 juillet 1975. De nombreuses recommandations traitent de la sécurité et de la fiabilité du système électro-nucléaire en Ontario.

juin 1980 - Le Comité spécial de l'assemblée législative sur les affaires de l'Hydro-Ontario publie son rapport final intitulé The Safety of Ontario's Nuclear Reactors.

1er août 1983 - Une défaillance d'un tube de force se produit au réacteur 2 de Pickering. Il s'agit de la première défaillance importante du système primaire de refroidissement d'un réacteur CANDU. Ce réacteur restera hors service jusqu'à ce que les tubes du réacteur soient remplacés.

août-novembre 1983 - Des incidents survenus dans le cours de l'exploitation entraînent la mise à l'arrêt des réacteurs Pickering 1 (le 5 août), Pickering 5 (le 7 août), Douglas Point et Bruce 3 (le 4 septembre), Bruce 2 (le 21 octobre), NPD (le 25 octobre), Bruce 1 (le 30 octobre) et Pickering 5 (le 1er novembre). À l'exception de la centrale NPD, tous les réacteurs sont par la suite remis en service. Un peu plus tard, le réacteur Pickering 1 est fermé pour permettre l'examen de l'accumulation d'hydrogène dans quatre de ses tubes de force.

14 novembre 1983 - Le réacteur Pickering 1 est arrêtée pour que soit vérifiée l'accumulation d'hydrogène dans les tubes de force.

7 mars 1984 - L'Hydro-Ontario annonce que tous les tubes de force des réacteurs Pickering 1 et 2 seront remplacés.

26 avril 1986 - L'explosion et l'incendie survenus à la centrale nucléaire de Tchernobyl en URSS libèrent des quantités massives d'éléments radioactifs provenant du coeur du réacteur.

25 août 1986 - L'Agence internationale de l'énergie atomique reçoit le rapport officiel de l'Union soviétique sur les causes et les effets de l'accident de Tchernobyl et en entame l'étude. Selon le rapport, de graves négligences humaines ont causé l'accident.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

septembre 1986 - Le Canada signe deux conventions internationales sur la sûreté nucléaire. En vertu de la première, il s'engage à signaler rapidement tout accident nucléaire et à fournir des informations à ce sujet; aux termes de la seconde, il promet assistance à tout pays victime d'un accident nucléaire.

mai 1987 - La centrale Pickering 1 devrait être remise en service.

décembre 1987 - La centrale Pickering 2 devrait recommencer à fonctionner.

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

(1) "All Zirconium Tubes to be Replaced at Pickering Units 1 and 2", Nuclear Engineering International, vol. 29, n° 355, mai 1984, p. 15-20.

(2) Cruickshank, Andrew, "Putting Policy Into Practice in the United States", Nuclear Engineering International, mars 1987, p. 24-28.

(3) Environment, vol. 25, n° 7, septembre 1983, p. 12 à 16.

(4) "Lessons from the Schoolhouse", The Economist, 10 mai 1986, p. 92-93.

(5) Lewis, Harold, W., "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, vol. 242, n° 3, mars 1980, p. 53 à 65.

(6) Mynatt, F.R., "Nuclear Reactor Safety Research Since Three Mile Island", Science, vol. 216, 9 avril 1982, p. 131 à 135.

(7) Ontario, Assemblée législative, Comité spécial sur les affaires de l'Hydro-Ontario, The Safety of Ontario's Nuclear Reactors, rapport final, juin 1980.

(8) Varley, James, "Germans Take a New Look at Core Melt Consequences", Nuclear Engineering International, mars 1987, p. 35-38.